

ITW

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:

Jaan Hellat et al.

Art Unit: [to be assigned]

Application No.: 10/775,141

Examiner: [to be assigned]

Filing Date: 11 Feb. 2004

Atty. Ref. No.: 003-112

Title: METHOD FOR OPERATING A GAS  
TURBO GROUP

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF APPLICATION IN SUPPORT OF A  
CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119**

Commissioner For Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Applicant submits herewith a certified copy of the prior application identified below, in support of a claim for priority under 35 U.S.C. § 119 in the above-identified patent application:

Country	Priority Document Appl. No.	Filing Date
CH	2003 0199/03	11 Feb. 2003

Prompt acknowledgment of this claim and submission is respectfully requested.

Respectfully submitted,

Date: 14 Sept 2004

Adam J. Cermak  
Reg. No. 40,391

U.S. P.T.O. Customer Number 36844  
Cermak & Kenealy LLP  
P.O. Box 7518  
Alexandria, VA 22307

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



10/775,141

BEST AVAILABLE COPY

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
CONFÉDÉRATION SUISSE  
CONFEDERAZIONE SVIZZERA

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

**Bescheinigung**

Die beiliegenden Akten stimmen mit den ursprünglichen technischen Unterlagen des auf der nächsten Seite bezeichneten Patentgesuches für die Schweiz und Liechtenstein überein. Die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein bilden ein einheitliches Schutzgebiet. Der Schutz kann deshalb nur für beide Länder gemeinsam beantragt werden.

**Attestation**

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces techniques originales de la demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein spécifiée à la page suivante. La Suisse et la Principauté de Liechtenstein constituent un territoire unitaire de protection. La protection ne peut donc être revendiquée que pour l'ensemble des deux Etats.

**Attestazione**

I documenti allegati sono conformi agli atti tecnici originali della domanda di brevetto per la Svizzera e il Liechtenstein specificata nella pagina seguente. La Svizzera e il Principato di Liechtenstein formano un unico territorio di protezione. La protezione può dunque essere rivendicata solamente per l'insieme dei due Stati.

Bern, 2 FEB. 2004

Eigenes Eigentum  
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum  
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle  
Istituto Federale della Proprietà Intellettuale

Patentverfahren  
Administration des brevets  
Amministrazione dei brevetti

*H. Jenni*  
Heinz Jenni

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Patentgesuch Nr. 2003 0199/03

HINTERLEGUNGSBESCHEINIGUNG (Art. 46 Abs. 5 PatV)

Das Eidgenössische Institut für Geistiges Eigentum bescheinigt den Eingang des unten näher bezeichneten schweizerischen Patentgesuches.

Titel:

Verfahren zum Betrieb einer Gasturbogruppe.

Patentbewerber:

ALSTOM (Switzerland) Ltd  
Brown Boveri Strasse 7  
5401 Baden

Anmeldedatum: 11.02.2003

Voraussichtliche Klassen: F02C

Uebertragen an:

ALSTOM Technology Ltd  
Brown Boveri Strasse 7  
5400 Baden  
(Inhaber/In)

reg: 26.11.2003

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Verfahren zum Betrieb einer Gasturbogruppe

**Technisches Anwendungsgebiet**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbogruppe gemäss dem Oberbegriff des  
5 Anspruch 1.

**Stand der Technik**

Die katalytische Umsetzung von Brennstoffen stellt eine Möglichkeit zur schadstoffarmen Wärmeerzeugung dar.  
10 Beim Einsatz in Gasturbogruppen ist aber die insbesondere aus Lebensdauergründen erforderliche Begrenzung der erreichbaren Temperaturen nachteilig. Das Erreichen der heute im Interesse guter Wirkungsgrade und hoher Einheitenleistungen angestrebten  
15 Turbineneintrittstemperaturen ist mit katalytischen Brennkammern alleine nicht möglich: Während die Brennkammern moderner Gasturbinen beispielsweise Heissgastemperaturen um 1450°C erzeugen, kann eine katalytische Brennkammer nur bis zu Temperaturen von rund  
20 1000°C betrieben werden. Weiterhin erfordert der Betrieb einer katalytischen Brennkammer eine mindeste Eintrittstemperatur.

Bei einer stationären Gasturbine, die ohne Verdichter-  
25 Zwischenkühlung bei Vollast-Druckverhältnissen über 20 bis 30 arbeitet, ist das Erreichen der mindesten Eintrittstemperatur bei Vollast aufgrund der Temperaturerhöhung der Luft bei der Verdichtung an sich unproblematisch; beim Anfahren und im Teillastbetrieb kann  
30 die mindesterforderliche Temperatur jedoch im Wesentlichen

nicht erreicht werden. Zur Erreichung der mindesten Eintrittstemperatur unter allen Umständen sind Vorbrennersysteme bekannt. US 5,395,235 gibt solche Vorbrennersysteme an. Das dort zugrundeliegende Problem ist, über den gesamten Betriebsbereich einer Gasturbogruppe wenigstens eine Temperaturerhöhung von rund 350°C Verdichterendtemperatur auf rund 450°C Katalysator-Eintrittstemperatur zu realisieren. Einerseits wird ein Diffusionsbrenner als Vorbrenner angegeben, der sich bekanntlich durch einen stabilen Betrieb über einen breiten Betriebsbereich auszeichnet. Gemäss der in der US 5,395,235 zugrundegelegten Problematik muss dieser Diffusionsbrenner mit der ihm eigenen erhöhten Stickoxidproduktion fortlaufend mit einer vergleichsweise hohen Last betrieben werden, womit ein Vorteil der katalytischen Verbrennung vorgeblich nahezu egalisiert wird. Die US 5,395,235 schlägt daher vor, den Diffusions-Vorbrenner durch einen katalytischen Vorbrenner zu ersetzen, der nur mit einem Teil des gesamten Brennluft-Massenstromes beaufschlagt wird, und der aufgrund der niedrigeren Strömungsgeschwindigkeit bereits bei niedrigeren Eintrittstemperaturen zu arbeiten vermag. Gleichwohl ist in bestimmten Betriebsbereichen wiederum der Einsatz eines Diffusions-Vorbrenners erforderlich. Dies bedeutet aber, dass der Diffusions-Vorbrenner während des Betriebes zu- und abgeschaltet werden muss. Dies erfordert ein stets zuverlässiges und verzögerungsfreies initiales Zünden des Diffusionsbrenners, und kann in transienten Betriebszuständen potenziell zu ernststen Stabilitätsproblemen führen. Die erhöhte Turbineneintrittstemperatur wird mit einem dem katalytischen Brenner nachgeschalteten konventionellen Brenner erzielt. EP 694 740 gibt an, eine selbstzündende



Brennkammer des auch aus EP 669 500 bekannten Typs stromab einer katalytischen Stufe anzuordnen. Die maximale Austrittstemperatur des Katalysators von rund 1000°C - es werden in der EP 694 740 800°C bis 1100°C spezifiziert -  
5 passt bestens zu der für die stabile und sichere Funktion einer selbstzündenden Brennkammer notwendigen Mindesttemperatur, die je nach Brennstoff beispielsweise bei 900-950°C liegt. Derartige selbstzündende Brennkammern weisen aufgrund der vergleichsweise geringen thermischen  
10 Belastung - der zu bewältigende Temperaturunterschied liegt im Allgemeinen bei weniger als 600°C - des Betriebes bei einer guten Vormischung von Brennstoff und Verbrennungsgas, sowie einer sehr brennstoffarmen Verbrennung, was wiederum aufgrund der hohen Anströmtemperatur unproblematisch ist,  
15 einen sehr geringen Stickoxidausstoß und einen guten Ausbrand auf. EP 694 740 gibt an, einen Drallerzeuger einsetze aus EP 321 809 bekannten Vormischbrenners zur Aufbereitung der Brennstoff-Luft-Mischung für den Katalyten einzusetzen, betont jedoch, dass dort keine Flammenstabilisierung  
20 stattfinden dürfe. Insofern gibt EP 694 740 keinen Hinweis darauf, wie die mindesterforderliche Einströmtemperatur des Katalyten über einen breiten Betriebsbereich einer Gasturbogruppe zu gewährleisten sei.

25 Aus der EP 767 345 ist eine Gasturbogruppe mit einem mehrstufigen Brennersystem bekannt, das aus einer katalytischen ersten Brennerstufe, einer nichtkatalytischen zweiten Brennerstufe sowie einem zwischengeschalteten Anfahrbrenner besteht. Für die katalytische Brennerstufe  
30 ist eine separate Aufbereitung des Brennstoff/Luftgemisches vorgesehen, um eine Optimierung dieses Gemisches durchführen zu können. Die Vorwärmung des der katalytischen Brennerstufe zugeführten Gemisches wird durch einen

Wärmereaktor mit einer nicht näher spezifizierten Wärmequelle realisiert. Die katalytische Brennerstufe arbeitet bei Austrittstemperaturen von ca. 950°C, so dass in der zweiten Brennerstufe selbstzündende Brenner eingesetzt werden können, wie sie aus EP 694 740 oder EP 669 500 bekannt sind. Mit diesem in der Druckschrift vorgeschlagenen Brennersystem soll vermieden werden, dass die katalytische Brennerstufe mit Heißgasen oder Abgasen aus einer vorgeschalteten Verbrennung beaufschlagt wird. Beim Anfahren einer Gasturbogruppe wird diese zunächst mit dem Anfahrbrenner zunächst auf rund 20% relative Leistung hochgefahren bevor die katalytische Brennerstufe in Betrieb genommen wird. Zur Anschließend wird die zweite Brennerstufe zugeschaltet, die stromab des Anfahrbrenners wirkt. Die in dieser Druckschrift eingesetzte Aufbereitung des Brennstoff-Luft-Gemisches für die katalytische Brennerstufe ist jedoch sehr aufwendig und kostspielig. Die Aufbereitungsstufe soll zudem bei Vollast abgeschaltet sein, so dass nicht ausreichend auf schnelle Laständerungen reagiert werden kann. Der Anfahrbrenner ist ebenfalls nur bis rund 20% relativer Leistung der Gasturbogruppe in Betrieb. Auch hier ist die Leistungsabsenkung von hoher Last auf unter 20% relative Leistung kritisch, da ein spontanes und schnelles Zuschalten des Anfahrbrenners notwendig ist. Gerade bei hoch transienten Betriebszuständen wie einem Lastabwurf, englisch load rejection, wobei die Leistung durch Öffnen des Generator- oder Netzschalters einer stationären zur Stromerzeugung eingesetzten Gasturbogruppe sprunghaft auf Null oder nahe Null reduziert wird, oder beim Schutzentlasten, englisch protective load shedding, bei dem die Leistung mit einem sehr hohen Gradienten von beispielsweise rund 50%/Minute verringert wird, kann ein rechtzeitiges Auffangen der

thermischen Leistung bei einem ab Stillstand zu betreibenden Vorbrenner nicht zuverlässig gewährleistet werden. Daneben verursacht ein intermitterender Betrieb der katalytischen Stufe unerwünschte bis schädliche

5 Thermoschocks für das häufig keramische Trägermaterial des Katalyten.

10        **Darstellung der Erfindung**

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, welches die Nachteile des Standes der Technik vermeidet. Insbesondere soll ein Betriebskonzept für eine Brennkammer mit einer

15 katalytischen Stufe und für eine Gasturbogruppe mit einer Brennkammer mit einer katalytischen Stufe derart angegeben werden, dass schnelle Lastwechsel in der gesamten Leistungs-Bandbreite möglich sind, und, dass die katalytische Stufe möglichst geringen

20 Temperaturwechselbeanspruchungen ausgesetzt ist. Neben der Stabilität des Betriebes ist weiterhin auch der Forderung nach einem geringen Schadstoffausstoß Rechnung zu tragen damit der Aufwand für die Verwendung einer Brennkammer mit einer katalytischen Stufe gerechtfertigt ist.

25 Die Aufgabe wird mit dem Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche oder lassen sich aus der nachfolgenden Beschreibung und den

30 Ausführungsbeispielen entnehmen.

Kern der Erfindung ist also, die Brennkammer einer Gasturbogruppe, welche einen Vorbrenner und eine

katalytische Stufe aufweist, so zu betreiben, dass die katalytische Stufe beim Anfahren bei einem thermischen Leistungsumsatz in Betrieb genommen wird, der bereits bei einer unterhalb der Nenndrehzahl der Gasturbogruppe

5 liegenden Drehzahl vorliegt. Daraus folgt, dass im Betrieb der Gasturbogruppe bei Nenndrehzahl, und bevorzugt auch bei Abweichungen von der Nenndrehzahl innerhalb gewisser Grenzen, die katalytische Stufe vom Leerlaufbetrieb der Gasturbogruppe bis zur Volllast in allen Lastzuständen in

10 Betrieb ist. Das bedeutet mit anderen Worten, dass die katalytische Stufe bereits vor dem Erreichen der netzsynchronen Drehzahl in Betrieb genommen wird, und erst beim Abstellen der Gasturbogruppe wieder ausser Betrieb genommen wird, dazwischen aber fortwährend in Betrieb ist.

15 Temperaturwechselbeanspruchungen des Katalysators werden damit auf ein Minimum beschränkt. Wenn die Maschinendrehzahl, bei welcher die katalytische Stufe in Betrieb genommen wird, bevorzugt bei etwa 60% bis 85%, insbesondere 60% bis 75% der Nenndrehzahl liegt, erweist

20 sich dies als besonders günstig. Der Abstand der Einschaltdrehzahl von der Nenndrehzahl von 15% oder 25% bis 40% gewährleistet, dass die katalytische Stufe auch bei Frequenzschwankungen eines Elektrizitätsnetzes und insbesondere bei instationären Vorgängen wie beispielsweise

25 beim Abfangen einer Überdrehzahl zuverlässig in Betrieb bleibt. Auch beim Leerlaufbetrieb und beim Betrieb im unteren Lastbereich befindet sich die katalytische Brennerstufe im Gegensatz zu den aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren fortwährend im Betrieb. Die

30 Maschinenregelung muss daher gerade bei geringer Last keine Schalttransienten auffangen, und starke Temperaturwechselbeanspruchungen des Katalysators werden vermieden.

Die mit katalytischen Brennerstufen erzielbaren Heissgastemperaturen sind mit den nach dem Stand der Technik eingesetzten Katalyt- und Trägerwerkstoffen deutlich geringer als die Heissgastemperaturen, mit denen Gasturbinen heute betrieben werden. Daraus resultieren Leistungs- und Wirkungsgradeinbussen, wenn zur Wärmeerzeugung ausschliesslich katalytische Brennerstufen zum Einsatz kommen. Es ist daher bekannt, stromab einer katalytischen Brennerstufe eine zweite, nichtkatalytische Stufe anzuordnen, um eine weitere Temperaturerhöhung zu erzielen. Dabei kann die nichtkatalytische zweite Brennerstufe aus einem oder mehreren an sich bekannten Vormischbrennern bestehen. Aus EP 694 740 ist die Verwendung einer katalytischen ersten Brennerstufe stromauf einer zweiten nichtkatalytischen Brennerstufe bekannt, welche als selbstzündende Brennkammer der beispielsweise aus EP 669 500 bekannten Bauart ausgeführt ist. Die beiden zitierten Schriften stellen hinsichtlich des diesbezüglichen Offenbarungsgehaltes integrierende Bestandteile der vorliegenden Beschreibung dar. Die aus EP 694 740 bekannte Kombination hat einerseits den Vorteil, dass die aus EP 669 500 bekannte Brennerbauart für die Anströmung mit Heissgas ausgelegt ist. Weiterhin ergänzen sich beide Brennerstufen sehr gut: Die Austrittstemperatur katalytischer Brennerstufen liegt beispielsweise im Bereich von 900 - 950°C und entspricht somit in idealer Weise der für die nachfolgende zweite Brennerstufe erforderlichen Heissgas-Eintrittstemperatur. Die Austrittstemperaturverteilung der katalytischen Brennerstufe ist dabei systembedingt sehr homogen. Aufgrund der mit der ersten katalytischen Brennerstufe erreichten Austrittstemperaturen lässt sich die zweite Brennerstufe mit einem oder mehreren

selbstzündenden Brennern bzw. Brennkammern betreiben, mit denen sehr schnell auf eine Laständerung reagiert werden kann. Ein weiterer Vorteil dieses vorgeschlagenen Brennersystems besteht darin, dass sehr niedrige Stickoxid-

5 Emissionswerte erreicht werden können, die lediglich durch den Betrieb der Vorbrennerstufe nach unten begrenzt sind; auch die selbstzündenden Brennkammern sind für sehr geringe Stickoxidemissionen bekannt, das einerseits nur ein geringer Temperaturhub erfolgt, und sie sehr mager und

10 vorgemischt betrieben werden können. Die Vorbrennerstufe wird jedoch nur für die Vorheizung der Brennluft für die erste katalytische Stufe und nicht zur Erzeugung einer thermischen Leistung für den Betrieb der Gasturbogruppe benötigt. Die Vorbrennerstufe wird nur benötigt, um die

15 Temperaturdifferenz zwischen der zuströmenden Brennluft und der erforderlichen Eintrittstemperatur der katalytischen Stufe auszugleichen. Bei Vollastbetrieb, mit hohem Druckverhältnis und damit - zumindest ohne Zwischenkühlung im Verdichter - hoher Verdichterendtemperatur kann die

20 Vorbrennerstufe daher mit sehr geringer Leistung betrieben werden, oder kann ganz ausser Betrieb genommen werden. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die vom Verdichter kommende Luft zur Kühlung durch oder über thermisch hochbelastete Strukturen des Heissgaspfades der

25 Gasturbogruppe geleitet. Dabei wird die Luft zusätzlich erwärmt, wodurch die in der Vorbrennerstufe erforderliche Feuerungsleistung weiter sinkt, oder die der Brennkammer zuströmende Luft ohnehin schon eine Temperatur aufweist, die ohnehin schon über der mindest erforderlichen

30 Katalysator-Eintrittstemperatur liegt. Da die Feuerungsleistung der Vorbrennerstufe damit insbesondere im Lastbereich insgesamt gering ist, sind spezifisch vergleichsweise hohe Schadstoffemissionen tolerabel, welche

dann bezogen auf den gesamten Leistungsumsatz wieder recht gering sind. Die Vorbrennerstufe wird daher bevorzugt im Diffusionsbrennermodus betrieben, das heisst, im Gegensatz beispielsweise zu einem mageren Vormischbrenner, in einem

5 Verbrennungsmodus mit hohen Brennstoff-Konzentrationsgradienten, damit verbunden auch stöchiometrischen Zonen und der entsprechenden Stickoxidemission. Dies gewährleistet aber auf der anderen Seite eine überlegene Flammenstabilität und die

10 Möglichkeit, stets schnell auf veränderte Bedingungen und Anforderungen an die Feuerungsleistung zu reagieren. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Vorbrennerstufe kontinuierlich betrieben, auch wenn die der Brennkammer zugeführte Luft an sich schon die erforderliche

15 Mindesttemperatur aufweist; die Brennstoffzufuhr zu der Vorbrennerstufe wird dann soweit gedrosselt, dass gerade noch eine stabile Flamme vorliegt. Dies hat den Vorteil, dass bei plötzlichen Lastveränderungen der Gasturbogruppe, welche eine Vorheizung der Zuluft der katalytischen

20 Brennerstufe erfordern, und die vor allem bei Lastabwürfen vorkommen, unmittelbar reagiert werden kann, ohne die Vorbrennerstufe erst zünden zu müssen. Wenn die Temperatur der Zuluft nicht ausreicht, wird die Brennstoffzufuhr zur Vorbrennerstufe mit Vorteil so geregelt, dass die

25 Temperatur der Luft am Eintritt in die katalytische Stufe eine mindeste Eintrittstemperatur von 400°C bis 500°C, bevorzugt 400°C bis 450°C, aufweist. Dieser Betriebsmodus gewährleistet es, dass einerseits die Funktion der katalytischen Brennerstufe sichergestellt ist, andererseits

30 aber die Feuerungsleistung und damit die Stickoxidproduktion der Vorbrennerstufe auf einem unumgänglichen Minimum gehalten wird.

Die Aufteilung der Brennstoffmenge auf die katalytische Brennerstufe und die dieser nachgeschaltete nichtkatalytische Brennerstufe kann auf verschiedene Weisen erfolgen. In einer ersten Betriebsweise wird eine weitere  
5 Leistungssteigerung alleine durch eine Erhöhung der der katalytischen Stufe zugeführten Brennstoffmenge erreicht, solange, bis die Temperatur am Austritt aus der katalytischen Stufe wenigstens näherungsweise der maximal zulässigen Temperatur der katalytischen Stufe entspricht.  
10 Das heisst, der schadstoffarme Betrieb der katalytischen Stufe wird über einen maximalen Betriebsbereich genutzt. Die zweite, nichtkatalytische Brennerstufe wird beim Erreichen einer Schwellentemperatur am Austritt aus der katalytischen Brennerstufe gezündet, welche wenigstens  
15 näherungsweise der maximal dauerhaft zulässigen Temperatur der katalytischen Brennerstufe entspricht. In einer zweiten vorteilhaften Betriebsweise wird die zweite, nichtkatalytische Brennerstufe bereits vor Erreichen dieser maximal zulässigen Temperatur in Betrieb genommen, und mit  
20 einer wenigstens für einen stabilen und sicheren Betrieb ausreichenden Brennstoffmenge versorgt. Damit kann über die nichtkatalytische Brennerstufe besser auf schnelle Leistungsänderungen reagiert werden. Insbesondere wird die zweite nichtkatalytische Brennerstufe beim Erreichen oder  
25 Überschreiten einer Schwellentemperatur am Austritt aus der katalytischen Stufe in Betrieb genommen, welche wenigstens der minimal erforderlichen Eintrittstemperatur für den Betrieb einer selbstzündenden Brennkammer entspricht. In einer praktisch zu bevorzugenden Betriebsweise wird die  
30 Schwellentemperatur zwischen den beiden genannten Temperaturen festgelegt; damit ist eine hinreichend grosse Sicherheitsmarge sowohl gegen ein Verlöschen einer selbstzündenden zweiten nichtkatalytischen Brennerstufe als



auch ein Überhitzen der katalytischen Brennerstufe gewährleistet.

Auch hinsichtlich der Regelung einer verstellbaren Vorleitreihe sind verschiedene Betriebsweisen denkbar. Im Teillastbereich wird eine steigende Leistung der Gasturbogruppe bevorzugt durch eine Steigerung der katalytischen Stufe zugeführten Brennstoffmenge erreicht. Das heisst, wenn eine Regelabweichung der Leistung vorliegt, wobei die Soll-Leistung über der Ist-Leistung liegt, wird die Brennstoffmenge zur katalytischen Stufe erhöht, und umgekehrt. Dabei erhöht sich die Austrittstemperatur aus der katalytischen Brennerstufe. Falls das Gesamt-Fahrkonzept der Gasturbogruppe, insbesondere auch die weiteren massgeblichen Temperaturen und Drücke, dies zulassen, wird dabei eine verstellbare Vorleitreihe soweit möglich geschlossen gehalten. Grundsätzlich sind bei der weiteren Leistungserhöhung zwei Betriebsarten sinnvoll und möglich: Einerseits wird die Vorleitreihe geschlossen gehalten, und die der katalytischen Brennerstufe zugeführte Brennstoffmenge wird erhöht, bis die Temperatur am Austritt aus dem Katalysator einem Zielwert, insbesondere näherungsweise der maximal zulässigen Temperatur, entspricht. Eine weitere Leistungssteigerung wird durch Erhöhung der Brennstoffzufuhr zur katalytischen Brennerstufe erreicht, wobei deren Austrittstemperatur durch eine Verstellung der Vorleitreihe konstantgehalten wird. Erst, wenn die Vorleitreihe vollständig geöffnet ist, wird die Brennstoffzufuhr zur zweiten Brennerstufe erhöht. Dieser Betriebsmodus gewährleistet im Allgemeinen den schadstoffärmsten Teillastbetrieb. Abhängig von den speziellen Randbedingungen, insbesondere beim Betrieb in

einer Kombianlage, kann es aber auch hinsichtlich des Wirkungsgrades sehr vorteilhaft sein, nachdem bei geschlossener Vorleitreihe ein Zielwert für die Austrittstemperatur der katalytischen Stufe erreicht ist

5 zunächst die Brennstoffzufuhr zur nichtkatalytischen zweiten Brennerstufe zu erhöhen, und dabei die Vorleitreihe geschlossen zu halten, bis entweder die Turbineneintrittstemperatur oder die Turbinenaustrittstemperatur einen Maximalwert erreicht. Die

10 Brennstoffzufuhr der katalytischen Stufe wird dabei auf eine Konstanthaltung der Austrittstemperatur auf einem Sollwert geregelt. Weiterhin wird dann durch ein Öffnen der Vorleitreihe auf an sich bekannte Weise die Leistung weiterhin gesteigert, wobei diese auf bekannte und an

15 anderen Orten ausführlich beschriebene Weise so geregelt wird, dass entweder die Turbineneintrittstemperatur oder die Turbinenaustrittstemperatur auf ihrem Maximalwert bleiben. Die gesamte Brennstoffmenge wird dabei in Abhängigkeit von der Regelabweichung der Leistung

20 eingestellt. Dabei wird immer soviel Brennstoff zur Vorbrennerstufe geleitet, wie nötig ist, um die mindesterforderliche Eintrittstemperatur der katalytischen Stufe aufrechtzuerhalten, oder gegebenenfalls, um die Vorbrennerstufe eben im stabilen Betrieb zu halten; die

25 Brennstoffmenge der katalytischen Stufe wird so geregelt, dass die Austrittstemperatur konstant auf dem Sollwert bleibt, und der darüber hinausgehende Anteil der gesamten Brennstoffmenge wird der nichtkatalytischen zweiten Brennerstufe zugeführt. Des Weiteren können zur Anpassung

30 der Leistung auch andere an sich bekannte Massnahmen, wie die Kühlung der Verdichter-Ansaugluft, eine Zwischenkühlung im Verdichter, oder auch eine Einbringung von Dampf oder

Wasser in die Turbine oder stromauf der Turbine herangezogen werden.

Die katalytische Brennerstufe sowie die dieser  
5 Brennerstufe zugeführte Brennstoffmenge werden  
beispielsweise auf eine Austrittstemperatur von ca. 900°C  
bis 950°C ausgelegt. Die gesamte Verbrennung kann somit  
innerhalb des Katalysators dieser Brennerstufe stattfinden.  
Die Brennstoffmenge wird dabei so eingestellt, dass die  
10 Austrittstemperatur stets kleiner als die maximal zulässige  
Temperatur des Katalysators ist. Auf diese Weise wird ein  
Flammenrückschlag vermieden und der Katalysator kann auch  
etwas länger dimensioniert sein als im Auslegungspunkt  
minimal erforderlich. Die Verbrennung ist besser  
15 kontrolliert, so dass der Betrieb in Off-Design  
Betriebspunkten dadurch erleichtert wird. Weiterhin sind  
Variationen der Brennstoffeigenschaften unproblematisch und  
die Wahl des Katalysatormaterials ist freier.

20

Bei einem Lastabwurf wird in einer bevorzugten und  
vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemässen  
Verfahrens zunächst die zweite Brennerstufe unmittelbar  
abgeschaltet, so dass die Verdichteraustrittstemperatur auf  
25 Leerlaufniveau sinkt. Die Verdichtervorleitreihe bleibt für  
einige Sekunden offen stehen. Gleichzeitig oder unmittelbar  
nach dem Abschalten der zweiten Brennerstufe wird der dem  
Vorbrenner zugeführte Brennstoffmassenstrom stark erhöht,  
und bevorzugt wird die Vorbrennerstufe mit einem  
30 vorbestimmten, hohen Brennstoffmassenstrom betrieben, um  
das Verlöschen des Katalyten der katalytischen Brennerstufe  
zu verhindern; danach kann die Brennstoffmenge der  
Vorbrennerstufe auf die Brennstoffmenge eingestellt werden

die im Leerlauf der Gasturbogruppe notwendig ist. Die der katalytischen Brennerstufe zugeführte Brennstoffmenge wird dabei so geregelt, dass die Rotordrehzahl der Gasturbine auf die Nenndrehzahl abgefangen wird. Bei einer  
5 anschließenden Lastzunahme wird dann die zweite Brennerstufe zur Regelung der Last wieder in Betrieb genommen.

#### 10        **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Im Einzelnen zeigen:

15        Figur 1 ein Beispiel für eine erfindungsgemäss betreibbare Gasturbogruppe;

      Figur 2 einen beispielhaften Verlauf der den unterschiedlichen Brennerstufen zugeführten Brennstoffmengen in Abhängigkeit von der relativen Drehzahl und der relativen Leistung der Gasturbogruppe;

20        Figur 3 einen beispielhaften Verlauf verschiedener Maschinenparameter bei einem Lastabwurf; und

      Figur 4 ein weiteres Beispiel für eine erfindungsgemäss betreibbare Gasturbogruppe.

25

#### **Wege zur Ausführung der Erfindung**

In Figur 1 ist eine zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens geeignete Gasturbogruppe  
30 dargestellt. Eine Turbine 4 und ein Verdichter 12 sind auf einer gemeinsamen Welle 15 angeordnet. Auf dem gleichen Wellenstrang ist weiterhin ein Generator 13 angeordnet. Der Verdichter 12 saugt Luft 21 aus der Umgebung an und

verdichtet diese. Der Verdichter 12 weist weiterhin eine verstellbare Vorleitreihe 121 auf. Deren Position bestimmt im Wesentlichen den Ansaugvolumenstrom und damit bei vorgegebener Umgebungstemperatur und vorgegebenem

5 Umgebungsdruck den Luftmassenstrom der Gasturbogruppe. Verdichtete Luft 22 wird zu einer unten noch im Detail erläuterten Brennkammer geführt. Wie ersichtlich ist, wird die verdichtete Luft vorgängig der Einleitung in die

10 Brennkammer im Gegenstrom zu dem Heissgas innerhalb der Brennkammer an deren Aussenwänden vorbeigeführt. Dabei wird die Brennkammerstruktur konvektiv gekühlt und die im Nachgang der Verbrennung zugeführte Luft wird vorgewärmt. In der Brennkammer wird, wie unten ausgeführt, wenigstens eine Brennstoffmenge in der verdichteten Luft verbrannt.

15 Heisses gespanntes Rauchgas 24 strömt aus der Brennkammer ab und tritt mit der Turbineneintrittstemperatur  $T_3$  in die Turbine 4 ein, wo der Rauchgasmassenstrom unter Abgabe einer Leistung entspannt wird. Das aus der Turbine abströmende Abgas 25 weist noch eine hohe

20 Turbinenaustrittstemperatur  $T_4$  von beispielsweise  $500^\circ\text{C}$  und darüber auf. Dieses Abwärmepotenzial wird bevorzugt auf an sich bekannte Weise genutzt, beispielsweise zur Dampferzeugung in einem Abhitzedampferzeuger. Die bei der Entspannung des Rauchgases erzeugte Leistung wird zum

25 Antrieb des Verdichters 12 und des Generators 13 verwendet. Der Generator erzeugt eine mechanische Nutzleistung  $P_{\text{ACT}}$ . Ein Entsprechendes Messsignal wird zu einem Regler 31 geführt, und dort mit der Soll-Leistung  $P_{\text{SET}}$  verglichen. Ausgehend von der Regelabweichung der Leistung,  $P_{\text{SET}} - P_{\text{ACT}}$ ,

30 wird eine Gesamtbrennstoffmengen-Stellgrösse  $Y_{\text{FUEL}}$  gebildet. Ein Weiterer Regler 35 erfasst verschiedene Temperaturmesswerte. Die dort erfassten Temperaturen werden auf Sollwerte eingeregelt oder auf Maximalwerte begrenzt,

indem über eine Stellgrösse  $Y_{VIGV}$  die Position der verstellbaren Vorleitreihe 121 gesteuert wird. Die Brennkammer umfasst einen Vorbrenner 1, welcher bevorzugt, aus Gründen der Stabilität des Betriebs, als

5 Diffusionsbrenner ausgeführt ist. Ein Teil des Verbrennungsluftstroms wird über den Vorbrenner geführt. Es schliesst sich eine Mischsektion 14 an, welche vorliegend als Drallerzeuger in der Art des Drallerzeugers des aus EP 321 809 bekannten Brenners ausgeführt ist. Dabei besteht

10 die Mischsektion aus wenigstens zwei Umfangssegmenten eines zylinderartigen und/oder kegelstumpffartigen Hohlkörpers, die mit ihren Längsachsen im wesentlichen parallel zur Durchströmungsrichtung der Brennkammer angeordnet sind, wobei die Längsachsen der einzelnen Umfangssegmente quer

15 zur Durchströmungsrichtung gegeneinander versetzt sind, wodurch tangential-radial orientierte Einströmöffnungen gebildet werden. Ein Brenner der Vorbrennerstufe steht mit einer stromaufwärtigen Stirnseite der Mischvorrichtung in Fluidverbindung, die katalytische Brennerstufe steht mit

20 einer stromabwärtigen Stirnseite in Fluidverbindung, und die Einströmöffnungen stehen mit einem Zuströmbereich der Brennkammer in Fluidverbindung, derart, dass im Betrieb der Gasturbogruppe die Mischvorrichtung im Wesentlichen axial mit einem ersten, von der Vorbrennerstufe kommenden

25 Gasmassenstrom durchströmt wird, und ein Brennluftmassenstrom mit einer tangentialen Strömungskomponente in die Mischvorrichtung einströmt. Auf diese Weise wird der erste, über den Vorbrenner 1 geführte Luftstrom 26 mit der verdrallten weiteren Verbrennungsluft

30 vermischt. Stromab der Mischstrecke schliesst sich eine katalytische Brennerstufe 2 an. An die katalytische Stufe schliesst sich eine als selbstzündende Brennkammer der aus EP 669 500 bekannten Art ausgeführte nichtkatalytische

zweite Brennerstufe an. Aus der katalytischen Stufe abströmendes Fluid strömt mit hoher Geschwindigkeit in einen Strömungskanal ein, in dem Wirbelerzeuger 11, insbesondere der aus CH 688868 bekannten Art, und eine Brennstofflanze 5 angeordnet sind. Der Kanal mündet mit einer sprunghaften Querschnittserweiterung in einem Brennraum 6, aus dem das Fluid 24 schliesslich zur Turbine 4 abströmt. Zur Funktion der katalytischen Brennkammer muss die Temperatur  $T_1$  an deren Eintritt einen bestimmten Mindestwert von beispielsweise  $450^\circ\text{C}$  erreichen. Im Betrieb einer modernen Gasturbine liegt eine solche Temperatur im Lastbetrieb häufig ohnehin am Verdichteraustritt vor, wenn der Verdichter ohne Kühlung arbeitet. Die Umströmung der Brennkammer tut ein Übriges zur Erwärmung der Verbrennungsluft vor dem Einströmen in die Brennkammer. Für einen zuverlässigen Betrieb muss aber die Einhaltung der Mindesttemperatur stromauf des Katalysators unter allen Umständen gewährleistet werden. Ein Teilstrom  $\dot{m}_p$  der gesamten Brennstoffmenge  $\dot{m}_{\text{FUEL}}$  wird daher über ein Stellorgan 16 dem Vorbrenner 1 zugemessen. Das Stellorgan 16 wird in Abhängigkeit von einer Steuergrösse  $Y_p$  eingestellt. Die Temperatur  $T_1$  am Eintritt in die katalytische Stufe wird bestimmt und zu einem Regler 32 geführt. Der Regler 32 vergleicht den Temperatur-Istwert  $T_1$  mit dem Mindestwert  $T_{\text{MIN}}$  und bildet daraus die Stellgrösse  $Y_p$ . Es wird daher sichergestellt, dass stets eine mindest notwendige Eintrittstemperatur am Eintritt der katalytischen Brennkammer vorliegt. Die Regelung der Brennstoffmenge des Vorbrenners erfolgt bevorzugt so, dass auch bei einer Eintrittstemperatur der Verbrennungsluft, welche an sich schon den notwendigen Mindestwert überschreitet, immer eine Mindestbrennstoffmenge zugeführt wird, derart, dass der Vorbrenner 1 während des gesamten

Betriebes der Gasturbogruppe im Betrieb ist, auch, wenn dies an sich nicht zwingend notwendig ist. Eine solche Betriebsweise erhöht zwar die Stickoxidemissionen der Gasturbogruppe. Dieser Nachteil wird aber durch

5 betriebstechnische Vorteile wieder ausgeglichen. Wenn die Gasturbogruppe beispielsweise bei Volllast betrieben wird, ist der Betrieb des Vorbrenners 1 typischerweise nicht notwendig. Bei einem schnellen Entlasten oder gar einem Lastabwurf fällt die Temperatur der zuströmenden

10 Verbrennungsluft 23 sehr schnell unter den Mindestwert, und der Betrieb des Vorbrenners 1 wird wieder absolut notwendig. Hierbei ist es von Vorteil, wenn nur dessen thermische Leistung erhöht werden muss, anstatt die Flamme des Vorbrenners in einem ohnehin transienten

15 Betriebszustand erst wieder zünden zu müssen. Das von dem Vorbrenner 1 erzeugte Heissgas 26 wird in der Mischsektion 14 mit der weiteren Verbrennungsluft vermischt. Ein weiterer Teil  $\dot{m}_c$  des Brennstoffmassenstroms wird der

20 derart erhitzten Verbrennungsluft stromauf der katalytischen Brennkammer 2 zugemischt. Diese Zumischung muss einerseits so erfolgen, dass beim Eintritt in den Katalysator ein möglichst homogenes Brennstoff-Luft-Gemisch vorliegt, und andererseits derart, dass es zu keiner

25 Zündung und Flammenstabilisierung des Brennstoffs in dem heissen Gas kommt. Selbstverständlich kann in dem Katalysator nicht beliebig viel Brennstoff umgesetzt werden, da dessen maximal zulässige Temperatur begrenzt ist. Zur Zumessung der Brennstoffmenge  $\dot{m}_c$  zum Katalysator dient ein Stellorgan 17, welches mit der Stellgrösse  $Y_c$  vom

30 Regler 33 aus angesteuert wird. Der Regler 33 erhält als Eingangsgrösse eine auf geeignete Weise ermittelte Temperatur  $T_2$  am Austritt des Katalysators. Dabei kann die Brennstoffmenge  $\dot{m}_c$  des Katalysators so eingeregelt werden,



dass die Temperatur  $T_2$  einen zulässigen Maximalwert  $T_{MAX}$  von zum Beispiel  $1000^{\circ}\text{C}$  nicht überschreitet, die vom Katalysator im Dauerbetrieb ertragen werden kann. Diese Temperatur muss zwangsläufig grösser sein als die zum

5 Betrieb der selbstzündenden Brennkammer 6 notwendige Mindesttemperatur. Dieser Betrieb ist schadstoffarm, da eine maximal mögliche Brennstoffmenge katalytisch umgesetzt wird. Eine von der Stellgrösse  $Y_{FUEL}$  angeforderte Soll-Gesamtbrennstoffmenge, welche den insgesamt vom Vorbrenner

10 und vom Katalysator umsetzbaren Massenstrom überschreitet, wird vom Regler 34 erfasst, welcher daraus die Stellgrösse  $Y_{SEV}$  bildet. Diese wirkt wiederum auf das Stellorgan 18, und steuert damit den Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_{SEV}$ , welcher der selbstzündenden Brennkammer 6 über die Brennstofflanze 5

15 zugeführt wird. Eine andere Betriebsweise wäre, bereits beim Erreichen einer minimal notwendigen Eintrittstemperatur der selbstzündenden Brennkammer von zum Beispiel  $900^{\circ}\text{C}$  die Brennstoffmenge  $\dot{m}_c$  zu begrenzen, und den weiteren Teil der Gesamt-Brennstoffmenge  $\dot{m}_{FUEL}$  der

20 selbstzündenden Brennkammer 6 zuzuleiten. Dieser Betriebszustand ist zwar tendenziell mit mehr Emissionen behaftet, bietet aber mehr Möglichkeiten für schnellere Regeleingriffe, da die thermische Leistung der nichtkatalytischen Brennerstufe im Allgemeinen schneller

25 regelbar ist als die des Katalysators. Ganz entscheidend ist es aber im vorliegenden Beispiel, das Stellorgan 18 vollständig geschlossen zu halten, solange die für den Betrieb einer selbstzündenden Brennkammer erforderliche Mindesttemperatur noch nicht erreicht ist. In der Praxis

30 liegen die beiden Temperaturen mit den heutzutage verwendeten Katalysatoren jedoch relativ nahe beieinander, so, dass nur in einem vergleichsweise kleinen Temperaturbereich für  $T_2$  ein sicherer Betrieb sowohl der

katalytischen Brennerstufe 2 als auch der selbstzündenden Brennkammer 6 möglich ist. Es ist daher von Vorteil, einen Sollwert für  $T_2$  festzulegen, der einerseits um eine Sicherheitsmarge oberhalb der Mindest-Eintrittstemperatur der selbstzündenden Brennkammer 6 liegt, und andererseits um eine Sicherheitsmarge unterhalb der dauerhaft zulässigen Temperatur der katalytischen Stufe 2. Unter Zugrundelegung der oben angegebenen Temperaturen wäre hier ein Temperaturbereich von beispielsweise  $950^{\circ}\text{C}$  bis  $980^{\circ}\text{C}$  günstig; abhängig vom verwendeten Katalysatormaterial und dem Brennstoff können sich auch abweichende Temperaturbereiche als günstig erweisen.. Der Betrieb erfolgt also im Zusammenspiel der Regler 31, 33 und 34 derart, dass bei einer Temperatur  $T_2$  unterhalb eines Schwellenwertes zunächst nur der katalytischen Brennerstufe Brennstoff zugeführt wird. Bei Erreichen des Temperaturschwellenwertes regelt Regler 33 über die Stellgrösse  $Y_c$  die der katalytischen Stufe zugeführte Brennstoffmenge  $\dot{m}_c$  so, dass die Temperatur  $T_2$  auf einem Sollwert verharret, und ein überschreitender Teil der Gesamtbrennstoffmenge wird vom Regler 34 registriert, welcher über die Stellgrösse  $Y_{sev}$  auf das Stellorgan 18 eingreift und den weder im Vorbrenner noch in der katalytischen Stufe umsetzbaren Brennstoff der nichtkatalytischen Brennerstufe zuleitet. Die Austrittstemperatur aus der katalytischen Brennerstufe kann weiterhin auch im Vorleitreihenregler 35 ausgewertet und für Regeleingriffe auf die Position der verstellbaren Vorleitreihe 121 verwendet werden. Dabei kann zwischen zwei grundsätzlich unterschiedlichen Betriebsmoden der Vorleitreihenregelung unterschieden werden, nämlich einem wirkungsgradoptimierten und einem schadstoffoptimierten Betriebsmodus. Der wirkungsgradoptimierte Betriebsmodus ist

aus dem Stand der Technik an sich wohlbekannt und läuft folgendermassen ab: Der Vorleitreihenregler 35 erfasst auf geeignete Weise die Temperaturen  $T_3$  vor und  $T_4$  nach der Turbine. Im unteren Teillastbereich wird die verstellbare Vorleitreihe geschlossen gehalten. Auf diese Weise steigt die Temperatur  $T_4$  nach der Turbine mit steigender Leistung der Gasturbogruppe sehr schnell an, wodurch bereits bei vergleichsweise geringer Leistung eine Temperatur erreicht wird, der es erlaubt, in einem nachgeschalteten Abhitzedampferzeuger qualitativ hochwertigen Frischdampf eines bestimmten Druckes und einer bestimmten Überhitzung zu erzeugen, der beispielsweise den Betrieb einer Dampfturbine erlaubt. Beim Erreichen eines Sollwertes der Turbinenaustrittstemperatur  $T_4$  wird die Vorleitreihe geöffnet, und die Temperatur wird konstantgehalten. Gleichzeitig wird die Turbineneintrittstemperatur  $T_3$  überwacht. Wenn diese einen zulässigen Maximalwert erreicht, löst die Turbineneintrittstemperatur  $T_3$  die Turbinenaustrittstemperatur  $T_4$  als Leitgrösse der Regelung ab, und wird bis zum Erreichen der Volllast, bei maximaler Turbineneintrittstemperatur und vollständig geöffneter Vorleitreihe, konstantgehalten. Dieser Betrieb gewährleistet einen besten Wirkungsgrad, insbesondere beim Kombibetrieb, da über einen weiten Betriebsbereich der Gasturbogruppe günstige Frischdampfdaten einer von einem nachgeschalteten Abhitzedampferzeuger angespiesenen Dampfturbine gewährleistet werden. In einem emissionsoptimierten Betrieb wird im Teillastbereich die Katalysator-Austrittstemperatur  $T_2$  als Leitgrösse für die Vorleitreihenverstellung verwendet: Sobald diese den Sollwert erreicht, wird die Vorleitreihe geöffnet. Die dadurch bewirkte Steigerung des Verbrennungsluftmassenstroms erlaubt eine Steigerung des

Brennstoffmassenstroms  $\dot{m}_c$  der katalytischen Stufe, ohne dass eine zulässige Maximal-Austrittstemperatur  $T_{MAX}$  überschritten wird. Es ist damit möglich, eine maximale Menge an Brennstoff emissionsarm in der katalytischen Stufe umzusetzen. Die Temperatur  $T_3$  vor der Turbine 4 bleibt dabei fortwährend vergleichsweise gering, auf dem Wert  $T_2$ , da stromab der katalytischen Stufe nicht mehr gefeuert wird. Erst wenn die Vorleitreihe 121 vollständig geöffnet ist, kann die Brennstoffmenge der katalytischen Stufe nicht mehr weiter gesteigert werden, und die nichtkatalytische Brennerstufe wird zur weiteren Leistungssteigerung in Betrieb genommen, bis die Turbineneintrittstemperatur  $T_3$  ihren zulässigen Maximalwert erreicht, und damit die Maximalleistung der Gasturbogruppe erreicht wird. Dieser Betrieb zeichnet sich dadurch aus, dass über einen weiten Betriebsbereich die gesamte Brennstoffmenge nahezu emissionsfrei in der katalytischen Brennerstufe umgesetzt wird, und auch bis zum Vollastbetriebspunkt ein schadstoffärmerer Betrieb gewährleistet ist als im wirkungsgradoptimierten Betriebsmodus. Im Gegenzug bleibt die Temperatur  $T_4$  nach der Turbine über einen weiten Betriebsbereich niedrig, und zwar zu niedrig, um in einem der Turbine nachgeordneten Abhitzedampferzeuger Frischdampf für einen effizienten Betrieb einer Dampfturbine im Kombibetrieb zu erzeugen. Dadurch, dass die Katalysatoraustrittstemperatur in keinem Betriebsmodus zur Leistungsregelung im oberen Lastbereich herangezogen werden muss, und unabhängig vom Maschinenbetriebspunkt die vorteilhafte Möglichkeit besteht, den Katalysator stets etwas unterhalb der zulässigen Maximaltemperatur zu betreiben, besteht keine Gefahr eines Flammenrückschlags, und der Katalysator kann etwas länger ausgeführt werden, als dies an sich notwendig wäre. Dies resultiert in einer

besser kontrollierten Verbrennung, und in einem besseren Betriebsverhalten abseits vom Auslegungspunkt. Weiterhin besteht eine grössere Freiheit bei der Wahl des Katalysatormaterials, was unter Anderem zu einem

5 wesentlichen Kostenvorteil führen kann, und die Bandbreite der umsetzbaren Brennstoffe wird grösser, ohne ein erhöhtes Flammenrückschlagsrisiko in Kauf nehmen zu müssen.

In Figur 2 ist in einer qualitativen Darstellung ein

10 beispielhafter Verlauf der Brennstoffmassenströme in den verschiedenen Brennerstufen der in Figur 1 dargestellten Brennkammer in Abhängigkeit von der relativen Drehzahl  $n/\hat{n}$ , mit  $\hat{n}$  als Nenndrehzahl, und der relativen Leistung  $P/\hat{P}$ , mit der Volllastleistung  $\hat{P}$ , gezeigt. Dabei handelt es

15 sich um eine schematische Darstellung, bei der nicht alle möglichen Details der Brennstoffmassenstromverläufe dargestellt sind, sondern die auf die Details fokussiert, die für das Verständnis der Erfindung wesentlich sind. Die nach oben aufgetragenen Werte sind jeweils auf einen

20 Referenzwert  $\hat{Y}$  bezogen dargestellt. Auch handelt es sich nicht um Werte einer bestimmten Maschine, sondern um den Betrieb einer fiktiven, aber durchaus repräsentativen Gasturbogruppe. Die Zünddrehzahl der Gasturbogruppe liegt bei rund 25% der Nenndrehzahl. Die gesamte Brennstoffmenge

25 wird zunächst dem Vorbrenner zugeleitet, und über dessen Befeuerung wird die Maschinendrehzahl weiter erhöht. Es ist von grossem Vorteil, wenn hier zunächst nur der Vorbrenner, bevorzugt als Diffusionsbrenner, in Betrieb ist. Eine stabile Diffusionsflamme reagiert am

30 unempfindlichsten auf schnelle Regeleingriffe während der Beschleunigungsphase, wie sie beispielsweise beim Schliessen der Verdichter-Ausblaseventile auftreten. Bevorzugt erst dann, wenn die Ausblaseventile geschlossen

sind, aber noch unterhalb der Nenndrehzahl, kommt die katalytische Brennerstufe in Betrieb. Dabei muss die Befeuerung des Vorbrenners natürlich bereits so stark sein, dass die erforderliche Eintrittstemperatur der

5 katalytischen Stufe oder von in den Betrieb zu nehmenden Segmenten der katalytischen Stufe auf oder über dem Mindestwert liegt. Im Beispiel wird die katalytische Stufe bei 75% der Nenndrehzahl in Betrieb genommen. Diese

10 Drehzahl liegt weit genug von der Nenndrehzahl entfernt, damit die katalytische Stufe im Leerlaufbetrieb, oder auch bei Underdrehzahlen nach dem Abfangen eines Lastabwurfs, sicher im Betrieb bleibt und keinen Schalttransienten

15 ausgesetzt ist. Beim weiteren Erhöhen der Maschinendrehzahl kann auch die katalytische Stufe verstärkt zur Feuerungsleistung beitragen, weshalb deren Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_c$  steigt. Da mit steigender

20 Maschinendrehzahl auch die Luftmenge steigt, andererseits aber die Temperatur vor der katalytischen Stufe gehalten werden muss, steigt auch der Brennstoffmassenstrom der Vorbrennerstufe  $\dot{m}_p$  weiter an. Ab der Nenndrehzahl beginnt

25 die Gasturbogruppe Leistung aufzunehmen. Im Ausführungsbeispiel erfolgt die gesamte Leistungsaufnahme im Lastbereich bis etwa 20% Relativleistung durch die katalytische Brennerstufe. Erst später wird die

30 nichtkatalytische zweite Brennerstufe durch Zufuhr einer Brennstoffmenge  $\dot{m}_{sev}$  in Betrieb genommen. Wie oben dargelegt, hängt die Inbetriebnahme einer selbstzündenden zweiten Brennkammer in erster Linie von der Temperatur nach der katalytischen Stufe ab. Es ist daher an sich eine Frage

der Dimensionierung der Brennerstufen, wann die zweite Brennkammer tatsächlich in Betrieb zu nehmen sei. Es ist jedoch von Vorteil, wenn dieses erst bei einer Leistung erfolgt, die oberhalb der im Lastbetrieb möglichen

Minimalleistung der Gasturbogruppe liegt, um während des Synchronisiervorgangs keinen Schaltvorgang der Brenner zu haben. In einer weiteren, nicht dargestellten vorteilhaften Betriebsvariante wird bis in einen Bereich zwischen 5 und 10% relativer Leistung die Brennstoffmenge  $\dot{m}_c$  der katalytischen Stufe konstant gehalten, und die gesamte Leistungsfeuerung während des Synchronisierens erfolgt durch den Vorbrenner, da dieser auf den transienten Synchronisationsvorgang wesentlich besser zu reagieren vermag. Gemäss der dargestellten Figur bleibt der Brennstoffmassenstrom der Vorbrennerstufe bis 25% Relativlast konstant. Die Eintrittstemperatur in die katalytische Stufe wird damit komfortabel oberhalb des erforderlichen Minimalwertes eingestellt, da ja mit steigendem Druckverhältnis und steigender Feuerungsleistung die Temperatur der Verbrennungsluft ohnehin ansteigt. Im Bereich von 20% Relativleistung bis 25% Relativleistung wird die Austrittstemperatur der katalytischen Stufe von der Mindesttemperatur für den Betrieb der zweiten Brennkammer auf die zulässige Maximaltemperatur gesteigert. Oberhalb von 25% Relativleistung wird der Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_p$  der Vorbrennerstufe langsam zurückgenommen, da mit steigendem Brennstoff-Luft-Verhältnis der katalytischen Stufe deren Betriebssicherheit steigt, und andererseits mit dem Druckverhältnis die Verbrennungslufttemperatur steigt. Bei 75% Relativleistung wäre im Ausführungsbeispiel eine Feuerung der Vorbrennerstufe nicht mehr notwendig. Der Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_p$  der Vorbrennerstufe wird dennoch nicht auf 0 zurückgefahren, um einen sicheren und stabilen Eigenbetrieb des Vorbrenners aufrechtzuerhalten, und so bei einem plötzlichen Leistungsabfall der Gasturbogruppe spontan und ohne vorheriges Zünden mit einer Erhöhung der

Brennstoffmenge der Vorbrennerstufe zu reagieren und ein Verlöschen der katalytischen Stufe zu vermeiden.

Ein solcher schneller Leistungsabfall liegt bei einem  
5 Lastabwurf vor. Diese Vorgänge sind in Figur 3 qualitativ dargestellt. Die Grössenordnung der nach oben aufgetragenen Werte ist nicht quantitativ mit den in Figur 2  
dargestellten Werten vergleichbar. Der Lastabwurf erfolgt bei  $t=5$  Sekunden. In kürzester Zeit geht die Drehzahl  $n$  auf  
10 eine Überdrehzahl, die durch eine Verminderung der thermischen Leistung abgefangen werden muss, um eine kritische Überdrehzahl zu vermeiden. Während des Vorgangs soll die Gasturbogruppe im Betrieb bleiben. Die nichtkatalytische zweite Brennerstufe wird sofort  
15 abgeschaltet. Gleichzeitig wird der Vorbrenner 1 mit einer erhöhten vorgesteuerten Brennstoffmenge versorgt, so dass die katalytische Brennerstufe 2 nicht erlischt. Der Brennstoffmassenstrom  $\dot{m}_c$  zur katalytischen Brennerstufe 2 wird dann so geregelt, dass die Nenndrehzahl erreicht und  
20 nicht signifikant unterschritten wird. Die Vorleitreihe VIGV bleibt während des gesamten Vorgangs des Abfangens und Einregelns der Maschinendrehzahl voll geöffnet, um nicht noch weitere variable Parameter in die Maschinenregelung einzubringen; erst nachdem die Maschinendrehzahl stabil auf  
25 Nenndrehzahl eingeregelt ist, wird die Vorleitreihe langsam geschlossen.

Figur 4 zeigt abschliessend, wie sich eine  
erfindungsgemäss zu betreibende Gasturbogruppe durch eine  
30 Umkonstruktion einer an sich aus EP 620 362 bekannten Gasturbogruppe mit sequentieller Feuerung aufbauen lässt. Eine schematische Darstellung des Heissgaspfades einer aus EP 620 362 bekannten Gasturbogruppe zeigt Figur 4a. Stromab



eines nicht dargestellten Verdichters 12 ist eine Hochdruckbrennkammer 7, umfassend einen Vormischbrenner 8 und einen Brennraum 9, angeordnet. Dort erzeugtes gespanntes Heissgas wird in einer ersten Hochdruckturbine 10 teilentspannt und in einer sich anschliessenden selbstzündenden zweiten Brennkammer nacherhitzt, bevor es in einer zweiten Turbine 4 weiter entspannt wird. Die Laufschaufeln der Turbinen 4 und 10 sind auf einer gemeinsamen Welle 15 angeordnet, und treiben den Verdichter 12 sowie einen Leistungsverbraucher, beispielsweise einen nicht dargestellten Generator, an. In der Darstellung gemäss Figur 4b ist die erste Turbine weggelassen worden. Der Vormischbrenner 8 ist durch einen Diffusions-Vorbrenner 1 ersetzt. An Stelle des ersten Brennraums 9 ist eine katalytische Brennerstufe 2 installiert. Die selbstzündende Brennkammer 3 und die Turbine 4 sind an sich unverändert übernommen. Die Welle 15 ist im Bereich der jetzt nicht mehr vorhandenen ersten Hochdruckturbine modifiziert und vereinfacht worden. Weiterhin wird zweckmässig der nicht dargestellte Verdichter 12 beispielsweise durch weglassen von zwei Axialverdichterstufen an das niedrigere Druckverhältnis angepasst, mit dem die Gasturbogruppe nach Weglassen der Hochdruckturbine betrieben wird. Ausgehend von einer aus EP 620 362 bekannten Gasturbogruppe mit sequentieller Verbrennung sind also nur Veränderungen im Bereich der Hochdruckturbine, der Hochdruckbrennkammer, sowie der letzten Verdichterstufen notwendig, um eine bei guten Leistungswerten schadstoffarm betreibbare Gasturbogruppe mit katalytischer Brennerstufe zu erhalten; wesentliche Bestandteile wie die Niederdruckturbine 4, die Niederdruckbrennkammer 3, und die Gehäusestrukturen können prinzipiell unverändert übernommen werden.

**Bezugszeichenliste**

5	1	Vorbrenner, Vorbrennerstufe
	2	katalytische Brennerstufe
	3	Niederdruckbrennkammer, selbstzündende Brennkammer, nichtkatalytische Brennerstufe
	4	Turbine
10	5	Brennstofflanze
	6	Brennraum der selbstzündenden Brennkammer
	7	Erste Brennkammer, Hochdruck-Brennkammer
	8	Vormischbrenner
	9	Brennraum der Hochdruckbrennkammer
15	10	Hochdruckturbine
	11	Wirbelerzeuger
	12	Verdichter
	13	Generator
	14	Mischsektion
20	15	Welle
	16	Stellorgan
	17	Stellorgan
	18	Stellorgan
	21	Umgebungsluft
25	22	verdichtete Luft
	23	Verbrennungsluft
	24	gespanntes Rauchgas
	25	entspanntes Rauchgas, Abgas
	26	Luftstrom des Vorbrenners
30	31	Regler
	32	Regler
	33	Regler
	35	Regler

121		verstellbare Vorleitreihe
	$\dot{m}_{\text{FUEL}}$	Gesamt-Brennstoffmassenstrom
	$\dot{m}_{\text{C}}$	Brennstoffmassenstrom zur katalytischen
5		Brennerstufe
	$\dot{m}_{\text{P}}$	Brennstoffmassenstrom zum Vorbrenner
	$\dot{m}_{\text{SEV}}$	Brennstoffmassenstrom zur nichtkatalytischen
		Brennkammer
	$n$	Rotordrehzahl
10	$\hat{n}$	Rotor-Nenndrehzahl
	$P_{\text{ACT}}$	Ist-Nutzleistung
	$P_{\text{SET}}$	Soll-Nutzleistung
	$P/\hat{P}$	Relativleistung
	$T_1$	Temperatur am Eintritt in die katalytische
15		Brennkammer
	$T_2$	Temperatur am Austritt der katalytischen
		Brennkammer
	$T_3$	Temperatur vor der Turbine
	$T_4$	Temperatur nach der Turbine, Abgastemperatur
20	$T_{\text{MIN}}$	minimal erforderliche Temperatur am Eintritt in
		die katalytische Brennkammer
	$T_{\text{MAX}}$	maximal zulässige Temperatur am Austritt der
		katalytischen Brennkammer
	VIGV	Stellung der verstellbaren Vorleitreihe
25	$Y/\hat{Y}$	Relativwert
	$Y_{\text{FUEL}}$	Stellgrösse für den Brennstoffmassenstrom
	$Y_{\text{C}}$	Stellgrösse für den Brennstoffmassenstrom zur
		katalytischen Brennerstufe
	$Y_{\text{P}}$	Stellgrösse für den Brennstoffmassenstrom zur
30		Vorbrennerstufe
	$Y_{\text{SEV}}$	Stellgrösse für den Brennstoffmassenstrom zur
		nichtkatalytischen Brennkammer
	$Y_{\text{VIGV}}$	Vorleitreihen-Stellgrösse

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Gasturbogruppe, wobei eine Brennkammer der Gasturbogruppe eine katalytische erste Brennerstufe (2), sowie eine der katalytischen  
5 Brennerstufe (2) in Strömungsrichtung vorgeschaltete Vorbrennerstufe (1) aufweist, wobei die Vorbrennerstufe von einem Verdichter (12) angeströmt wird, und die Abströmung aus der Brennkammer in eine Turbine (4) erfolgt, wobei wenigstens beim Anfahren  
10 der Gasturbine die Vorbrennerstufe ein Betrieb ist, dadurch gekennzeichnet, dass beim Anfahren der Gasturbogruppe die katalytische Brennerstufe (2) bei einer ersten Drehzahl (n) in Betrieb genommen wird, die unterhalb der Nenndrehzahl ( $\hat{n}$ ) der Gasturbogruppe  
15 liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die katalytische Brennerstufe (2) bei Erreichen einer ersten Drehzahl der Gasturbogruppe, die bei 60%  
20 bis 85%, insbesondere 60% bis 75% der Nenndrehzahl liegt, in Betrieb genommen wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorbrennerstufe (1) in einem  
25 Diffusionsverbrennungsmodus betrieben wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorbrennerstufe (1)  
über den gesamten Betriebsbereich der Gasturbogruppe  
30 betrieben wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzufuhr zur Vorbrennerstufe ( $\dot{m}_p$ ) derart geregelt wird, dass in  
5 einem ersten Betriebszustand die Einhaltung einer konstanten mindesten Katalysator-Eintrittstemperatur ( $T_{MIN}$ ) in die katalytische Stufe gewährleistet ist, und in einem zweiten Betriebszustand die  
Eintrittstemperatur in die katalytische Stufe ( $T_1$ )  
10 grösser als die Mindesttemperatur ist, wobei die Vorbrennerstufe mit soviel Brennstoff versorgt wird, wie zur Aufrechterhaltung einer stabilen Flamme notwendig ist.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die mindeste Katalysator-Eintrittstemperatur im Bereich von 400°C bis 500°C, bevorzugt im Bereich von 400°C bis 450°C, liegt.
- 20 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus der katalytischen ersten Brennerstufe (2) abströmendes Gas vor dem Eintritt in die Turbine (4) durch eine zweite, nichtkatalytische Brennerstufe (3; 11, 5, 6) geleitet  
25 wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Brennerstufe in Betrieb genommen wird, wenn die Temperatur am Austritt der katalytischen  
30 Brennerstufe ( $T_2$ ) wenigstens einer Schwellentemperatur entspricht.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Schwellentemperatur wenigstens der  
mindest erforderlichen Eintrittstemperatur für den  
Betrieb einer selbstzündenden Brennkammer entspricht.
- 5
10. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Schwellentemperatur höchstens der maximalen  
dauerhaft zulässigen Austrittstemperatur aus der  
katalytischen Brennerstufe entspricht.
- 10
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Schwellentemperatur im  
Bereich von 900°C bis 1050°C, bevorzugt im Bereich  
900°C bis 950°C, liegt.
- 15
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzufuhr zur  
katalytischen Stufe ( $\dot{m}_c$ ) in einem ersten  
Betriebszustand, bei dem die Austrittstemperatur der  
katalytischen Stufe ( $T_2$ ) unterhalb eines Sollwertes  
liegt, in Abhängigkeit von einer Regelabweichung der  
Leistung der Gasturbogruppe ( $P_{SET}-P_{ACT}$ ) gesteuert wird,  
und dass die Brennstoffzufuhr zur katalytischen Stufe  
in einem zweiten Betriebszustand auf eine  
Konstanthaltung der Austrittstemperatur auf dem  
Sollwert geregelt wird.
- 20
- 25
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,  
dass der Sollwert im Wesentlichen einer maximalen  
dauerhaft zulässigen Temperatur der katalytischen  
Stufe ( $T_{MAX}$ ) entspricht.
- 30

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine verstellbare Vorleitreihe (121) des Verdichters (12) der Gasturbogruppe zur Konstanthaltung der Austrittstemperatur aus der katalytischen Stufe ( $T_2$ ) verstellt wird.
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistung der Gasturbogruppe in einem ersten Betriebszustand über die Brennstoffzufuhr zur katalytischen Stufe geregelt wird, und in einem zweiten Betriebszustand durch die Brennstoffzufuhr zu einer nichtkatalytischen zweiten Brennerstufe und/oder die Verstellung einer verstellbaren Vorleitreihe und/oder eine Zwischenkühlung im Verdichter und/oder eine Kühlung der Ansaugluft der Gasturbogruppe und/oder die Einbringung von Dampf und/oder Wasser stromauf der Turbine oder innerhalb der Turbine geregelt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite, nichtkatalytische Brennerstufe (3; 11, 5, 6) nach dem Prinzip einer selbstzündenden Brennkammer betrieben wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Lastabwurf die Brennstoffzufuhr zur zweiten Brennerstufe unmittelbar abgeschaltet wird, die Zufuhr von Brennstoff zur Vorbrennerstufe unmittelbar erhöht wird, und die katalytische Brennerstufe zum Abfangen der Überdrehzahl und Einregelung der Nenndrehzahl betrieben wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Brennstoffmenge, die der Vorbrennerstufe  
zugeführt wird, im Wesentlichen der Brennstoffmenge  
entspricht, welche der Vorbrennerstufe im  
5 Leerlaufbetrieb der Gasturbogruppe zugeführt wird.
19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil der  
im Verdichter verdichteten Brennlufte vor der  
10 Zuströmung zu der Vorbrennerstufe zu Kühlungs Zwecken  
im Heissgaspfad der Gasturbogruppe verwendet wird.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Brennlufte im Gegenstrom entlang der  
15 Aussenseite der Brennkammerwand geführt wird.
21. Gasturbogruppe zur Durchführung eines Verfahrens  
gemäss einem der vorstehenden Ansprüche, welche  
wenigstens einen Verdichter (12), wenigstens eine  
20 Turbine(4), und wenigstens eine Brennkammer aufweist,  
dadurch gekennzeichnet, dass in der Brennkammer in  
Strömungsrichtung eine Diffusionsbrennerstufe als  
Vorbrenner (1), eine katalytische Stufe (2), und eine  
selbstzündende Brennkammer (3; 11, 5, 6) angeordnet  
25 sind.
22. Gasturbogruppe nach Anspruch 21, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Strömungsführung vom  
Verdichter zur Brennkammer so ausgeführt ist, dass die  
30 vom Verdichter verdichtete Luft (22, 23) thermisch  
belastete Komponenten des Heissgaspfades der  
Gasturbogruppe durch- oder überströmt, bevor sie zu  
der Brennkammer gelangt.



Zusammenfassung

Eine Gasturbogruppe weist eine Brennkammer auf, welche eine katalytische Brennerstufe (2), eine stromauf der  
5 katalytischen Brennerstufe angeordnete Vorbrennerstufe (1), sowie eine stromab der katalytischen Brennerstufe angeordnete nichtkatalytische Stufe (11, 5, 6) umfasst. Die Vorbrennerstufe dient dazu, beim Eintritt in die katalytische Stufe stets eine Temperatur ( $T_1$ )  
10 aufrechtzuerhalten, welche wenigstens einer zum Betrieb der katalytischen Brennerstufe erforderlichen Mindesttemperatur ( $T_{MIN}$ ) entspricht. Gemäss der Erfindung wird die Brennkammer so betrieben, dass die katalytische Stufe beim Anfahren der Gasturbogruppe bereits vor Erreichen der Nenndrehzahl in  
15 Betrieb genommen wird. Dies gewährleistet einen kontinuierlichen Betrieb der katalytischen Stufe, ohne dass diese bei wechselnder Leistungsabgabe der Gasturbogruppe intermittierend betrieben werden muss.

20 (Figur 1)

1 / 4

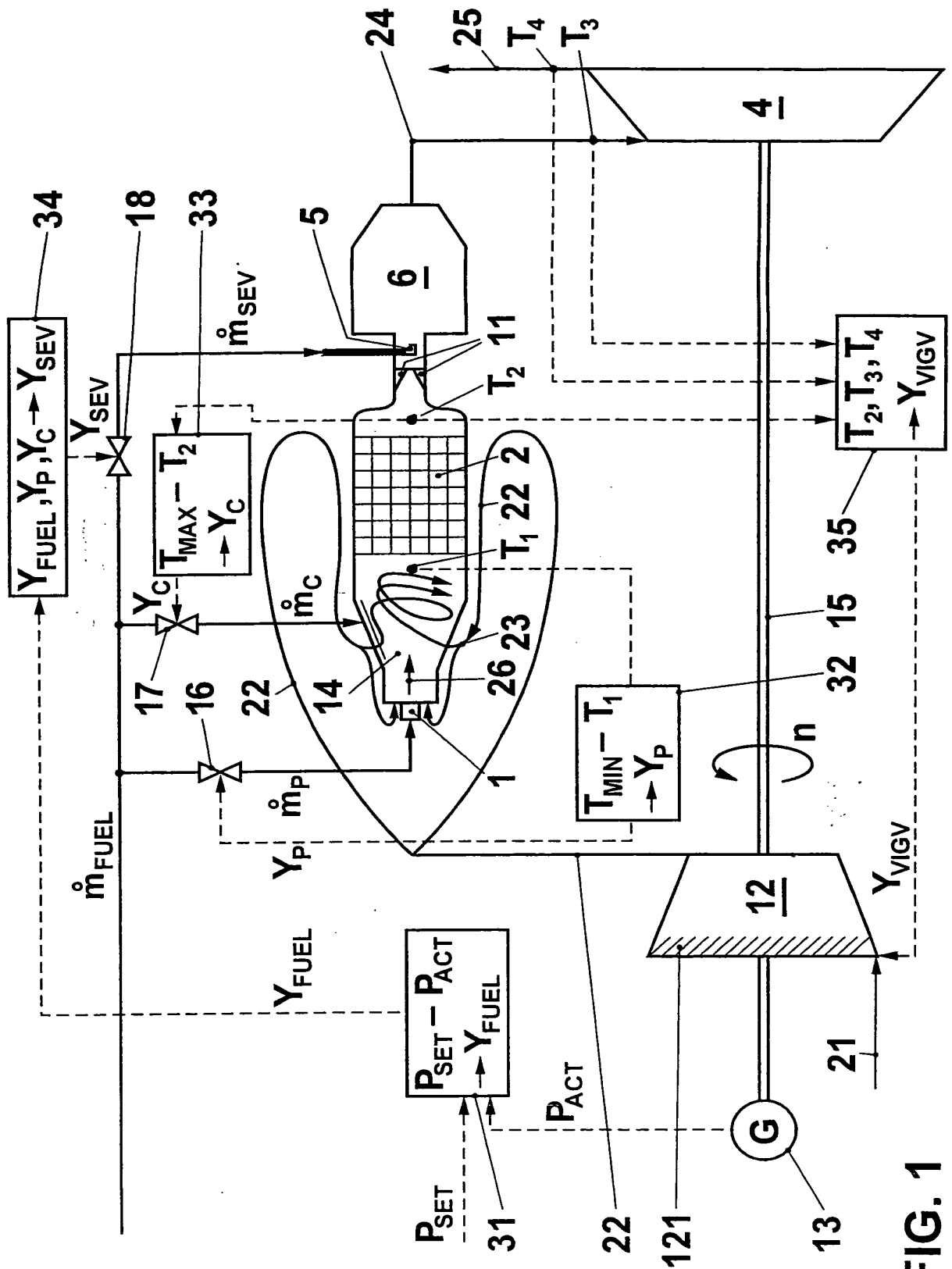


FIG. 1

2 / 4

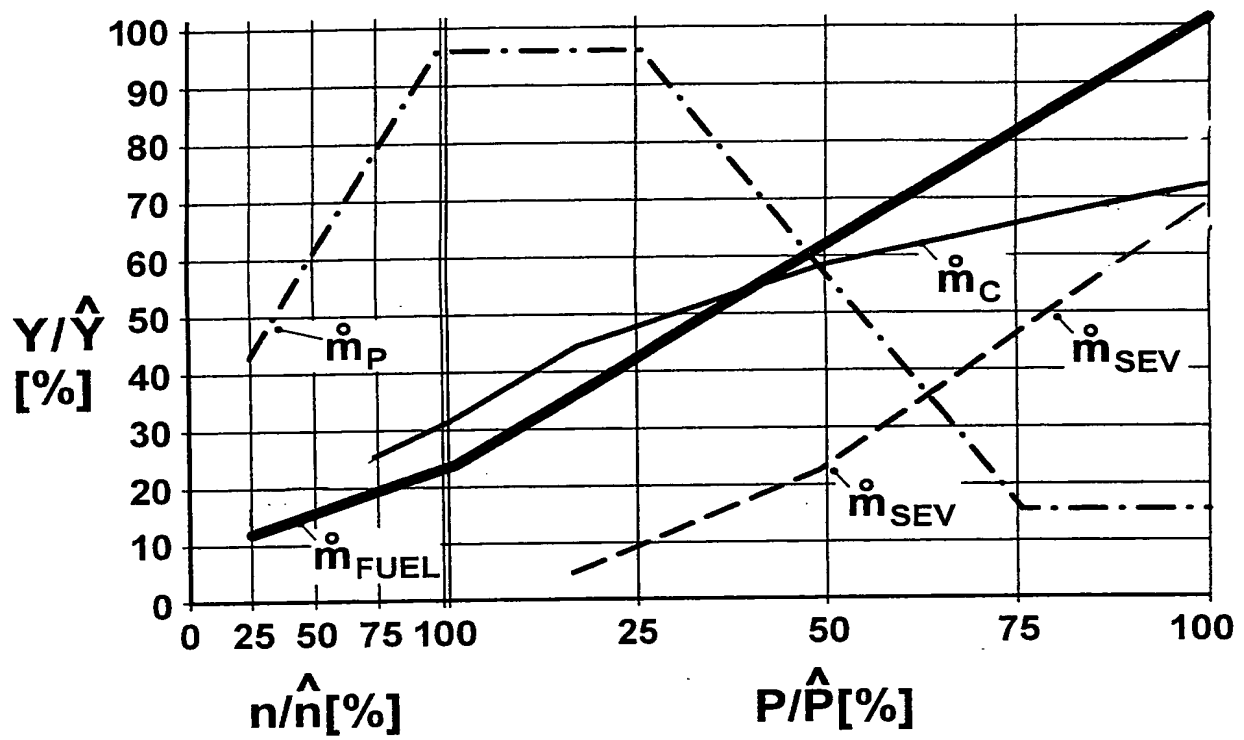


FIG. 2

3 / 4

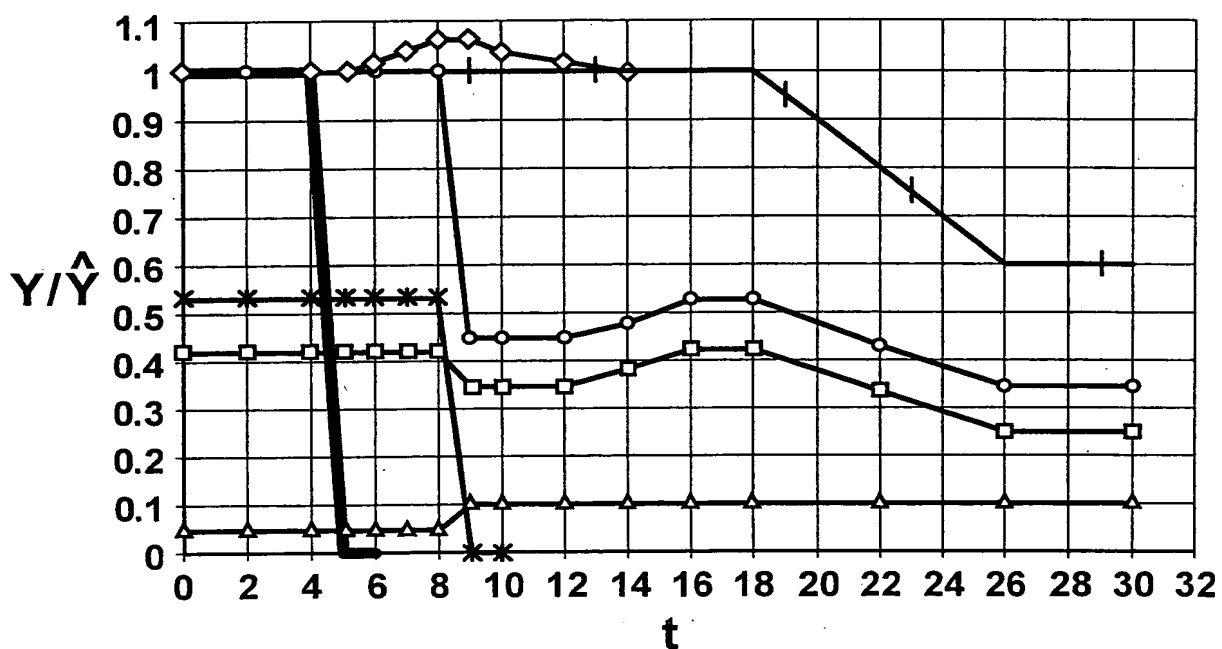
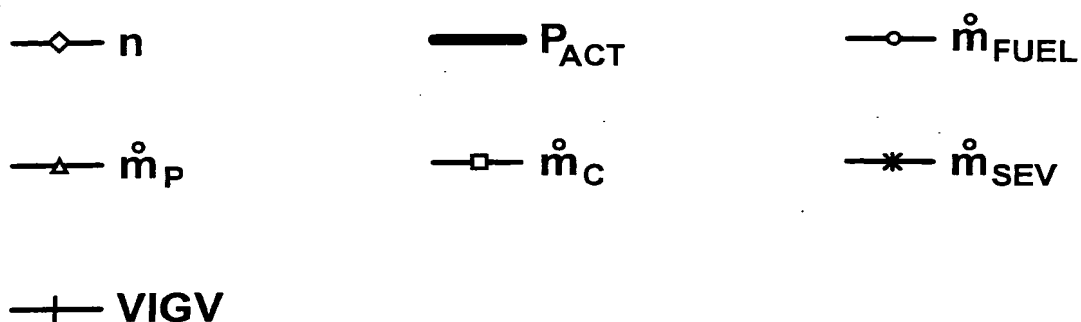


FIG. 3

4 / 4

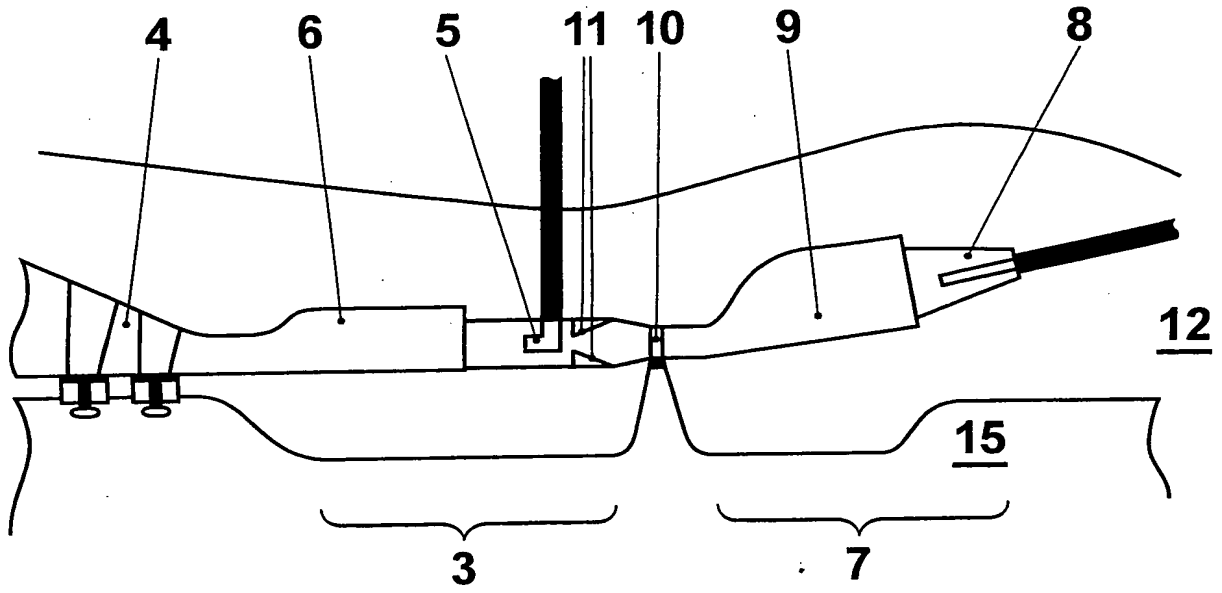


FIG. 4a

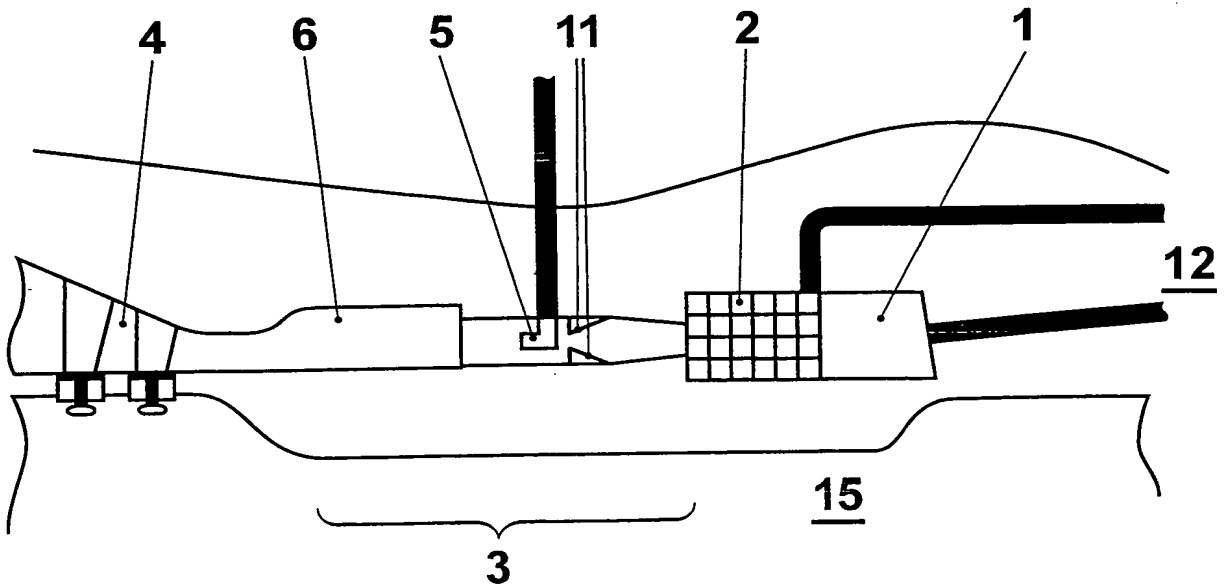


FIG. 4b

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**